

ICL V4c 植入术后视觉质量的研究进展

祁云凯^{1,3}, 汪洋合^{2,3}, 黄小娟³, 岳红云³

引用: 祁云凯, 汪洋合, 黄小娟, 等. ICL V4c 植入术后视觉质量的研究进展. 国际眼科杂志, 2026, 26(1): 86–90.

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(No.25JRRA422); 甘肃省卫生健康委员基金资助项目(No.GSWSKY2024-27); 联勤保障部队第九四〇医院部队专项培育项目(No.2021yxky032)

作者单位:¹(730000)中国甘肃省兰州市, 甘肃中医药大学第一临床医学院; ²(730030)中国甘肃省兰州市, 西北民族大学医学部; ³(730050)中国甘肃省兰州市, 中国人民解放军联勤保障部队第九四〇医院眼科

作者简介: 祁云凯, 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 眼视光学、眼屈光。

通讯作者: 岳红云, 眼科学/视觉心理学双博士, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 屈光性白内障手术、视觉加工特征与神经机制、青光眼神经修复. yhyophthalmologist@163.com

收稿日期: 2025-05-23 修回日期: 2025-11-18

摘要

与其他屈光手术相比, 有晶状体眼后房型人工晶状体(ICL)植入手术是目前屈光手术中最受欢迎的术式之一。ICL手术具有可逆性、高清视觉效果、不会改变角膜解剖结构等优点。目前临床最常用的是V4c型有中央孔型晶状体, 围手术期不需要行虹膜激光打孔术。且术后可获得良好的裸眼视力, 然而, 部分患者术后早期可能出现视觉干扰现象, 如光晕、眩光等, 尤其在暗光环境下可能影响视觉舒适度。文章针对ICL V4c术后高阶像差(HOA)、调制传递函数(MTF)、对比敏感度(CS)等视觉质量指标及影响因素进行综述, 并探讨术后视觉质量可能存在的相对缺陷与相关机制。

关键词: V4c型有晶状体眼后房型人工晶状体(ICL V4c); 视觉质量; 高阶像差; 调制传递函数; 对比敏感度; 影响因素

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.1.15

Research progress of visual quality after implantable collamer lens V4c implantation

Qi Yunkai^{1,3}, Wang Yanghe^{2,3}, Huang Xiaojuan³,
Yue Hongyun³

Foundation items: Gansu Natural Science Foundation Project (No. 25JRRA422); Gansu Health Commission Fund Support Project (No.GSWSKY2024-27); Fund Project of the 940th Hospital of Joint Service Support Forces of the Chinese People's Liberation Army (No.2021yxky032)

¹First School of Clinical Medical, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China; ²Medical

Department of Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, Gansu Province, China; ³Ophthalmic Center, the 940th Hospital of Joint Service Support Forces of the Chinese People's Liberation Army, Lanzhou 730050, Gansu Province, China

Correspondence to: Yue Hongyun. Ophthalmic Center, the 940th Hospital of Joint Service Support Forces of the Chinese People's Liberation Army, Lanzhou 730050, Gansu Province, China. yhyophthalmologist@163.com

Received: 2025-05-23 Accepted: 2025-11-18

Abstract

• Compared to other refractive surgeries, the implantable collamer lens (ICL) implantation procedure has become one of the most popular surgical options in refractive surgery. ICL surgery offers advantages such as reversibility, high - definition visual outcomes, and preservation of the corneal anatomical structure. The V4c model, which features a central port, is currently the most widely used in clinical practice and eliminates the need for peripheral iridotomy during the perioperative period. Although excellent uncorrected visual acuity can be achieved postoperatively, some patients may experience visual disturbances in the early postoperative period, such as halo and glare, which may affect visual comfort particularly under low - light conditions. This article reviews visual quality metrics after ICL V4c implantation, including higher-order aberrations (HOA), modulation transfer function (MTF), and contrast sensitivity (CS), along with influencing factors, and discusses potential relative deficits in postoperative visual quality and their underlying mechanisms.

• KEYWORDS: implantable collamer lens V4c model (ICL V4c); visual quality; high-order aberration; modulation transfer function; contrast sensitivity; influence factor

Citation: Qi YK, Wang YH, Huang XJ, et al. Research progress of visual quality after implantable collamer lens V4c implantation. Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci), 2026, 26(1): 86–90.

0 引言

近视已成为全球性的公共卫生问题, 到 2050 年, 全球近视患病率将达到 50%, 其中约 20% 患者为高度近视^[1]。角膜屈光手术在高度近视领域的局限性, 促进了眼内屈光手术的发展, 有晶状体眼后房型人工晶状体(implantable collamer lens, ICL)植入术的中央孔技术, 减少了术后房水阻滞风险^[2], 且因其矫正范围广、视觉质量高、手术可逆、能保留角膜完整性^[3], ICL V4c 成为最受欢迎的屈光手术术式之一。然而, 该术式仍存在一定的术后缺陷, 除常见的术后眩光、光晕等视觉干扰现象外^[4-6], 还可能包括术后早期眼压升高、拱高异常(过高或过低)、晶状体前囊下

混浊乃至白内障形成、角膜内皮细胞丢失以及 ICL 旋转或移位等。这些并发症部分与手术操作、患者解剖结构差异及术后炎症反应相关,也可能与高阶像差 (high-order aberration, HOA)、调制传递函数 (modulation transfer function, MTF)、对比敏感度 (contrast sensitivity, CS) 等光学因素有关,因此,在肯定 ICL 手术优势的同时,也需重视其术后风险,并通过完善的术前评估、精准的手术规划和长期的术后随访予以应对。

1 ICL V4c 植入术后视觉质量的变化及相关因素

屈光术后视觉质量评估主要包括视力、CS、立体视觉、视觉质量问卷调查等^[7]。由于视觉的形成涉及复杂的生理与心理过程,主客观视功能评估能够全面反映患者术后的视觉质量,以及其手术满意度及视觉社会行为适应能力。

1.1 裸眼视力及屈光稳定性 V4c 晶状体植入后大部分患者均能获得理想的裸眼视力。Wan 等^[8]对 ICL V4c 晶状体植入术后 64 例患者 125 眼进行术后 5 a 的随访,术后 5 a,51 眼 (40.80%) 裸眼视力 $\geq 20/20$,86 眼 (68.88%) 裸眼视力 $\geq 16/20$,119 眼 (95.20%) 裸眼视力 $\geq 10/20$ 。Aruma 等^[9]对 ICL V4c 晶状体植入术后 20 例患者 32 眼进行术后 1 a 的随访,发现患者术后裸眼视力均 $>20/20$ 。这与 Ye 等^[10]的研究结果相似。大量循证证据表明,V4c 型晶状体植入术后视觉效果在短期与长期随访中均得到充分肯定。

主观视力改善与术后稳定的屈光状态密不可分,Alfonso 等^[11]对术前等效球镜 (spherical equivalent, SE) 为 9.20 ± 3.02 D 的患者进行术后 5 a 的回顾性研究,结果显示术后 1 a 平均 SE 为 -0.17 ± 0.26 D,且 91.53% 的眼屈光度在目标值 ± 0.50 D 以内,100% 在 ± 1.00 D 以内,至术后 5 a,平均 SE 为 -0.44 ± 0.47 D,仍有 67.4% 的眼保持在 ± 0.50 D 范围内,90.1% 在 ± 1.00 D 范围内。曹伟芳等^[12]对 118 眼术后 12 mo 的随访发现,SE 与预期差值在 ± 0.5 D 以内的患者占 88.6% (78/88),Luo 等^[13]研究发现,与 ICL 植入术相比,SMILE 术后表现出略优的可预测性。在 SMILE 和 ICL 植入后,分别有 81% 和 72% 的眼睛 SE 在 ± 0.50 D 以内,部分原因在于,ICL V4c 未使柱镜屈光得到矫正,导致整体平均残余 SE 偏高。但总体而言,ICL V4c 仍能为高度近视患者提供长期稳定的理想裸眼视力,其优势在于避免角膜切削对眼表结构的破坏,更适合角膜厚度不足或屈光度数过高的患者。

1.2 CS CS 是眼或视觉器官辨别目标所需的最低对比度。ICL V4c 晶状体植入后可精准矫正屈光不正,使光线准确地聚焦于视网膜上,有效改善了术前存在的低阶像差,从而使患者能更清晰地分辨不同对比度物体的细节。王红霞等^[14]对 32 例 SE 为 -8.70 ± 1.33 D 的高度近视患者进行术后 6 mo CS 进行随访,结果显示术后 6 mo 明视和暗视条件下 3.0、6.0、12.0、18.0 c/d 各频率段 CS 值均较术前提高,其中明视 3.0、6.0 c/d、暗视 6.0 c/d 与术前差异有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。李红鸣等^[15]的研究也表明,术前 SE > -6.00 D 的患者在术后 6~12 mo,明视状态下 3.0、6.0 c/d 以及暗视状态下 6.0 c/d 的 CS 值较术前显著增加。此外 Bai 等^[16]发现术前 SE 为 -8.98 ± 3.20 D 的患者,术后双眼 CS 水平较术前明显提高,CS 的达标比例从术前单眼的 37.5% 和双眼的 55.0% 分别上升至 66.25% 和 87.50%,综合来看,ICL V4c 术后 CS 改善具有“频率特异

性”:中低频 (3.0、6.0 c/d) 改善更显著,与该频率对应日常视觉需求 (如面部识别、道路标识分辨) 相关;而高频 (12.0、18.0 c/d) 虽有提升,但部分研究未达统计学差异^[14],可能因高度近视患者术前视网膜功能长期受离焦影响,高频细节分辨能力的恢复需更长时间。此外,暗视条件下 CS 改善集中于 6.0 c/d,提示术后暗光环境下的中距离视觉质量 (如夜间行走) 提升显著,然而暗光下的高频 CS 仍值得进一步关注。

1.3 视觉质量问卷 视觉质量问卷 (quality of vision, QoV)^[17] 是一种用于主观评估个体视觉功能与视觉体验满意度的标准化量表工具。眩光和光晕是 ICL 术后 3 mo 最常见的视觉症状,有研究指出 ICL 中央孔型晶状体术后会使光晕症状更明显,其机制可能与中央孔结构导致入射光线在孔周形成异常反射,进而干扰视网膜正常成像有关^[18]。Du 等^[19]对 ICL V4c 晶状体植入与 SMILE 术后 3 mo 患者进行问卷随访,随访提示 QoV 的总体平均分为 13.40 ± 9.11 分,其中 ICL 术后光晕的发生频率为 87.0% 显著高于 SMILE 术后光晕发生频率 42.9%,该研究还发现中等大小瞳孔与眩光症状存在相关性。瞳孔较大的患者术后眩光风险更高尽管多数研究报道 ICL 术后光晕发生率较高,但由于术后 CS 的提高和视轴区视觉质量改善,这些视觉症状通常并不影响患者的主观视觉满意度和日常活动^[20]。这种现象可能与大脑的视觉补偿机制相关,类似 Top-down 调节,大脑可通过抑制异常视觉信号、强化有效成像,逐步适应术后光学偏差,这也为临床术后宣教提供了理论依据:无需过度强调症状风险,需告知患者症状会随时间逐渐缓解。

1.4 立体视觉 立体视觉是指双眼分辨物体远近形态的高级视觉功能,是视觉心理特征的最高形式。ICL V4c 晶状体植入通过矫正屈光不正,恢复或接近正常双眼视差,从而改善立体视锐度^[21],多数文献报道高度近视患者术后立体视觉普遍得到提升。Kato 等^[22]对术前 SE 为 -7.87 ± 3.13 D 的患者进行回顾性分析,结果显示,平均立体视锐度由术前 $48.5'' \pm 1.6''$ 改善为 $41.5'' \pm 1.1''$ 。研究者认为术后立体视觉的改善可能与眼球偏斜的减少以及近融合幅度的增加共同作用有关。Khokhar 等^[23]对术前 SE 为 -10.49 ± 5.69 D 的患者观察显示,术后有 15/48 (31.25%) 的参与者近立体视觉得到改善,13/48 (27.10%) 的参与者远立体视觉增强,且在立体视觉个体中,近立体视觉改善的优势比达到 8.85,远高于远距离立体视觉,这可能与高度近视患者眼轴长度、眼底病变等因素有关。Bai 等^[16]研究发现术前 SE 为 -8.98 ± 3.20 D 的患者 ICL V4c 植入术后,患者的立体视觉显著改善表现为良好 (<60''),立体视觉比例从术前 32.50% 升至 62.50%、近立体视 (NSA) 值降低且视觉焦点向黄斑区域集中。多项研究一致表明,ICL V4c 植入术对于高度近视患者恢复和增强立体视觉方面具有显著效果。

2 ICL V4c 植入术后相关屈光参数的变化及相关因素

相关屈光参数评估包括高阶像差、调制传递函数、斯特列尔比、客观散射指数等,其直接反映眼内光学系统性能。患者术前 Kappa 角、瞳孔直径等因素及术后角膜切口、晶状体拱高、晶状体位置等均会影响患者视觉质量。

2.1 HOA 与角膜屈光手术相比,ICL 植入术所引入的 HOA 虽显著较低,但术后仍可观察到总 HOA、三叶草和球差的增加,这些变化与术后光晕等症相关^[24~27]。影响

HOA 的因素主要包括角膜切口、瞳孔直径及晶状体位置。研究表明,水平 3 mm 透明角膜切口可引入约 0.45–0.49 D 的规则性散光,其稳定性较高,不易随时间减轻^[28–29],因此手术时需谨慎选择切口位置以最大限度减少对视觉质量的影响^[30]。瞳孔直径亦是关键因素,特别是暗光环境下瞳孔直径超过 ICL 光学区时,易导致眩光和光晕,大瞳孔患者更易出现夜间视觉质量下降及 HOA 显著增加^[31–32],相关研究表明,ICL 晶状体植入术后存在一个“最佳瞳孔直径”范围,在此范围内术后视觉质量最优^[33]。此外,晶状体位置异常(如偏心^[34]、旋转^[35]或倾斜以及拱高异常^[36])同样会改变光学性能。尽管 ICL 中心孔常偏向颞上方^[37–38],但轻度偏心(如≤0.6 mm)通常不影响临床视觉表现。术后拱高需维持在 250–750 μm 的安全范围内,过高或过低均可能引发继发性青光眼或白内障,进而影响屈光状态和视觉质量^[39–41]。总体而言,ICL 术后虽存在多种可能影响光学质量的因素,但在一定范围内,这些因素的影响有限,患者整体满意度较高,例如表 1 综合总结了不同因素对 ICL 术后视觉质量影响的关键研究发现。

2.2 Kappa 角

Kappa 角是视轴与瞳孔轴之间的夹角,

kappa 角的大小直接影响 ICL 术后的视觉质量,理想状态下,ICL V4c 晶状体植入术后晶状体的光学中心应与人眼的光轴保持一致,然而人眼并非理想状态,ICL 术后可能发生倾斜和偏心等偏差,这些偏差可能影响术后的视觉质量,导致患者出现眩光、光晕^[42]。Qian 等^[43]研究发现 ICL 植入术后 Kappa 角的 Y 截距显著减少,表明瞳孔中心与角膜顶点之间的垂直距离有所变化。因此术前对 kappa 角进行精准测量并及时进行 kappa 角补偿可以提高术后视觉质量^[44]。

2.3 MTF 与 SR MTF 与 SR 是评估光学系统性能的两个重要参数,可以反映 ICL V4c 晶状体植入术后的视觉质量效果。MTF 反映光学系统对不同空间频率信息的传递能力,高频对应细节传递,中频对应层次过渡,低频对应轮廓识别^[45]。SR 是指在同一瞳孔直径下实际成像与理想成像的峰值光强的比值,也可以认为是 MTF 曲线下的面积,值越高光学质量越佳。Niu 等^[46]对接受 SMILE 术与 ICL 植入术患者进行术后 1 a 的随访,研究发现,ICL 组在 MTF 值的提升方面优于 SMILE 组。ICL 组 MTF 在术后 3 mo, 1 a 均显著高于术前及 SMILE 组同期水平,其原因在于 ICL

表 1 ICL 术后视觉质量影响的关键研究发现

影响因素	研究作者(年份)	研究概要/分组	主要视觉质量指标结果	主要结论
角膜切口位置	Wang 等 ^[30] (2024)	对比颞侧与上方透明角膜切口	术源性散光;颞侧切口组显著增加,上方切口组减轻。 HOA(6 mm 光学区):两组 tHOA、三叶草、四叶草均显著增加;颞侧切口组第二散光增加。	切口位置影响术源性散光和 HOA,合理选择切口位置有助于减少夜间视觉症状(如光晕)。
瞳孔直径	Chen 等 ^[31] (2019)	对比术后瞳孔大小与光晕的关系	术后 1 wk 光晕与术前无差异,术后 1,3 mo 光晕较术前显著减小。 瞳孔直径术后 1 wk, 1, 3 mo 较术前显著减小。	光晕大小与初始、最大、最小、平均瞳孔直径呈正相关,瞳孔直径是影响光晕大小的关键因素。
	尹娜等 ^[32] (2024)	对比不同瞳孔直径下 HOA	4 mm 瞳孔:HOA 变化不明显,视觉质量好。 7 mm 瞳孔:HOAs、彗差、球差显著增加,且与术前暗瞳直径正相关。	术后视觉质量受术前暗瞳直径影响,大瞳孔患者术后可能出现更多的视觉质量问题。
	Zhang 等 ^[33] (2023)	回顾性研究,按术后瞳孔直径分组	术后瞳孔直径在 4–4.99 mm 的患者组视觉质量最佳;瞳孔较大的患者组视觉质量较差。	存在一个“最佳瞳孔直径”范围,在此范围内术后视觉质量最优。
晶状体偏心	Pérez-Vives 等 ^[34] (2014)	模拟研究晶状体偏心对视觉质量的影响	≤0.6 mm 偏心:对视力及对比敏感度的影响可忽略不计,会轻微增加彗差,但未显著损害视觉表现。	临幊上,0.6 mm 以内的轻度偏心是可以接受的。
晶状体旋转	Dong 等 ^[35] (2025)	对比水平、垂直、倾斜植入后的旋转稳定性	水平和垂直植入后旋转>5°的发生率较低;倾斜植入后旋转>5°的发生率较高。但所有组均获得良好视觉效果。	植入方向影响旋转稳定性,但小幅度的旋转并未对视觉效果产生显著负面影响。
晶状体倾斜	Niu 等 ^[26] (2022)	观察研究晶状体倾斜对视觉的影响	平均倾斜角度为 2.54°±1.00°。对视力及 HOA 无显著影响,但可能引起光晕、眩光等主观症状,严重程度与倾斜度正相关。97.04% 患者满意。	倾斜主要影响主观视觉体验(如引起眩光),但绝大多数患者对整体手术效果仍感到满意。
晶状体拱高	Seo 等 ^[36] (2009)	研究拱高与像差的关系	HOA 显著增加,且彗差随着拱高的增加而增加。	ICL 在眼内的位置偏离理想状态(如拱高过高)会导致彗差增加,影响光学质量。

术不改变角膜光学结构,避免了角膜切削对光学质量的潜在影响。王涵等^[47]对26例52眼接收ICL植入的患者进行术后3 mo的回访,研究发现,术后1 wk,1,3 mo的MTF与SR逐渐上升,且在术后1 mo MTF超过正常阈值($\geq 30 \text{ c/d}$)。从MTF角度分析,ICL中央孔可能引入光散射并对视觉质量产生负面影响,但多项研究表明ICL V4c晶状体植入后MTF均较术前提高,这说明中央孔的光散射效应被屈光不正矫正的正向效应抵消,且不影响视网膜成像质量。

2.4 客观散射指数 客观散射指数(OSI)反映光学系统中散射光的强度,OSI值越小,视觉质量越高。ICL V4c术后OSI的变化存在争议。Yu等^[48]研究发现ICL V4c植入后的高度近视患者,术前及术后1 wk,1,3 mo的平均OSI值分别为 2.37 ± 1.6 、 1.63 ± 0.94 、 1.5 ± 0.86 、 1.43 ± 1.05 ,术后各时间点OSI值均较术前显著下降,这与蒋政等^[49]研究结果相似,这提示术后患者视觉质量是逐渐上升的,术后1 mo时OSI值逐渐稳定。其原因可能是角膜和前房形态逐渐复原前房炎性反应消失。然而,Ye等^[50]发现泪膜不稳定患者的OSI值显著升高,提示术后早期OSI值的升高可能与泪膜状态及炎症反应相关,且随时间推移可逐渐恢复正常。上述结论产生差异的原因可能与不同研究中OSI测量时间点、样本基线泪膜状态的差异有关。但两项研究均表明术后3 mo时OSI趋于稳定或恢复,说明从长期来看手术对视觉质量的影响较为一致,短期差异可能源于评估时点及恢复进程的不同。

3 小结

随着ICL在屈光手术中的广泛应用,术后视觉质量已成为临床关注的重点。目前最常用的V4c晶状体能够为患者提供稳定的屈光状态和良好的视觉质量。相较于其他型号ICL晶状体,V4c晶状体独特的中央孔设计有效沟通了前后房,显著降低了术后并发症的发生率。尽管ICL植入术后可能因大瞳孔、晶状体倾斜等因素引入光学像差或主观症状,但临床中患者满意度普遍较高,这提示当前ICL技术在安全性与视觉质量间已达到良好平衡,其背后的机制很可能与大脑神经系统的适应能力有关——类似于top-down调节补偿视觉偏差的机制,大脑可能同样能够补偿微小的术后光学缺陷,从而实现良好的主观视觉体验^[51]。ICL术后视觉质量研究已经由宏观视功能阶段逐渐进入微观局部分子生物学解剖研究领域,应用PCR及共聚焦显微镜对术眼前房微循环过程、虹膜内表面进行研究证实术后瞳孔形态及功能变化、OSI可能的诱因;术后眼球运动与局部微环境差异的研究可能与ICL V4c术后5 a之后脉络膜厚度及视网膜神经纤维层结构的演变相关。

在临床大样本随访观察的基础上,未来可基于个体化生物测量结论,如:暗瞳直径、Kappa角、角膜高阶像差、视觉适应过程、视网膜屈光地形图等个性化参数,引入人工智能算法,使其在ICL设计程序中完善个体化策略,有助于预测术后像差与散射指标变化,为术前规划与高危患者筛查提供支持,达成“完美”术后视功能。目前全面了解ICL术后视觉质量的影响因素,对于提升手术精准度以及提高视觉行为状态具有重要的临床意义。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:祁云凯论文选题与修改,初稿撰写;汪洋

合、黄小娟文献检索,数据分析;岳红云选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Arnoldi K. Growing pains: the incidence and prevalence of myopia from 1950 to 2050. *J Binocul Vis Ocul Motil*, 2024, 74(4):118–121.
- [2] Miao HM, Chen X, Tian M, et al. Refractive outcomes and optical quality after implantation of posterior chamber phakic implantable collamer lens with a central hole (ICL V4c). *BMC Ophthalmol*, 2018, 18(1):141.
- [3] Velázquez-Villoria D. Low diopter phakic implantable collamer lens: refractive and visual outcomes in low myopia and myopic astigmatism. *Clin Ophthalmol*, 2022, 16:2969–2977.
- [4] Siedlecki J, Schmelter V, Mayer WJ, et al. SMILE Versus Implantable Collamer Lens Implantation for High Myopia: A Matched Comparative Study. *J Refract Surg*, 2020, 36(3):150–159.
- [5] Eppig T, Spira C, Tsintarakis T, et al. Ghost-image analysis in phakic intraocular lenses with central hole as a potential cause of Dysphotopsia. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(11):2552–2559.
- [6] Wei RY, Li MY, Zhang HH, et al. Comparison of objective and subjective visual quality early after implantable collamer lens V4c (ICL V4c) and small incision lenticule extraction (SMILE) for high myopia correction. *Acta Ophthalmol*, 2020, 98(8):e943–e950.
- [7] Bennett CR, Bex PJ, Bauer CM, et al. The assessment of visual function and functional vision. *Semin Pediatr Neurol*, 2019, 31:30–40.
- [8] Wan Q, Chen L, He PY, et al. Five years comparison of efficacy and safety after ICL–V4c implantation for high and super high myopia correction. *Ann Med*, 2025, 57(1):2448282.
- [9] Aruma A, Li MY, Choi J, et al. Visual outcomes after small incision lenticule extraction and implantable collamer lens V4c for moderate myopia: 1-year results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2021, 259(8):2431–2440.
- [10] Ye Y, Xian Y, Liu F, et al. Comparison of monovision surgery using ICL V4c or femtosecond laser LASIK for myopia correction in the presbyopia age patients. *Sci Rep*, 2025, 15(1):7629.
- [11] Alfonso JF, Fernández-Vega-Cueto L, Alfonso-Bartolozzi B, et al. Five-year follow-up of correction of myopia: posterior chamber phakic intraocular lens with a central port design. *J Refract Surg*, 2019, 35(3):169–176.
- [12] 曹伟芳, 张素华, 刘迁. 带中央孔的ICL植入矫正中高度近视的效果. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2020, 42(12):909–915.
- [13] Luo WQ, Aruma A, Li MY, et al. Four-year visual outcomes and optical quality of SMILE and implantable collamer lens V4c (EVO-ICL) implantation for high myopia: a retrospective study. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1):341.
- [14] 王红霞, 周奇志, 高阳. 有晶状体眼后房型人工晶状体V4c植入术矫正高度近视的临床效果. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2017, 19(8):476–481.
- [15] 李红鸣, 聂丹洁, 钟波, 等. 中心孔型有晶状体眼人工晶状体植入术治疗高度近视的疗效. 国际眼科杂志, 2023, 23(8):1409–1412.
- [16] Bai ZX, Nie DY, Zhang J, et al. Visual function assessment of posterior-chamber phakic implantable collamer lenses with a central port. *Ann Transl Med*, 2022, 10(4):194.
- [17] Li J, Qin J, Lv X, et al. Study of corneal and retinal thicknesses at five years after FS-LASIK and SMILE for myopia. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1):396.
- [18] Eppig T, Spira C, Tsintarakis T, et al. Ghost-image analysis in phakic intraocular lenses with central hole as a potential cause of Dysphotopsia. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(11):2552–2559.
- [19] Du HY, Zhang B, Wang Z, et al. Quality of vision after myopic refractive surgeries: SMILE, FS-LASIK, and ICL. *BMC Ophthalmol*,

2023,23(1):291.

[20] Liu TX, Linghu SR, Pan L, et al. Effects of V4c-ICL implantation on myopic patients' vision-related daily activities. *J Ophthalmol*, 2016, 2016;5717932.

[21] Verghese P, Ghahghaei S. Predicting Stereopsis in macular degeneration. *J Neurosci*, 2020, 40(28):5465–5470.

[22] Kato S, Shimizu K, Igarashi A, et al. Kinetic visual acuity, stereopsis, and ocular deviation with an implantable collamer lens. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45(12):1777–1781.

[23] Khokhar S, Gupta S, Gogia V, et al. Changes in stereoacuity following implantable Collamer lens implantation in patients with myopia. *Indian J Ophthalmol*, 2015, 63(10):788–790.

[24] Aruma A, Li MY, Choi J, et al. Visual outcomes after small incision lenticule extraction and implantable collamer lens V4c for moderate myopia: 1-year results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2021, 259(8):2431–2440.

[25] Cao K, Zhang J, Wang J, et al. Implantable collamer lens versus small incision lenticule extraction for high myopia correction: A systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1):450.

[26] Niu LL, Zhang Z, Miao HM, et al. Effects of tilt and decentration of Visian Implantable Collamer Lens (ICL V4c) on visual quality: an observational study. *BMC Ophthalmol*, 2022, 22(1):294.

[27] Zhu JR, Zhou TA, Yang QJ, et al. Visual outcomes early after implantable collamer lens V4c implantation in different preoperative spectacle correction: full correction vs under correction. *Curr Eye Res*, 2023, 48(6):576–583.

[28] Chen X, Miao H, Li B, et al. Long-term changes in classified higher-order aberrations after implanting an EVO intraocular collamer lens. *BMC Ophthalmol*, 2025, 25(1):138.

[29] Dan TT, Liu TX, Luo HY, et al. The comparison of corneal higher-order aberration and surgically induced astigmatism between the clear corneal incision and the limbus tunnel incision of posterior chamber implantable collamer lens implantation. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1):40.

[30] Wang J, He XY, He Q, et al. Effects of clear corneal incision location and morphology on corneal surgically induced astigmatism and higher-order aberrations after ICL V4c implantation. *Front Med*, 2024, 11:1491901.

[31] Chen X, Han T, Zhao F, et al. Evaluation of Disk Halo Size after Implantation of a Collamer Lens with a Central Hole (ICL V4c). *J Ophthalmol*, 2019, 2019:7174913.

[32] 尹娜, 周娜, 陈晓蓓. 不同暗瞳直径屈光不正患者 ICL 植入术后视觉质量比较. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2024, 26(5):340–346.

[33] Zhang Q, Wu Y, Huang H, et al. The influence of pupil diameter upon and subjective quality of vision following implantable collamer lens (ICL V4c) implantation: An observational study. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(40):e35198.

[34] Pérez-Vives C, Ferrer-Blasco T, Madrid-Costa D, et al. Visual quality comparison of conventional and Hole-Visian implantable collamer lens at different degrees of decentring. *Br J Ophthalmol*, 2014, 98(1):59–64.

[35] Dong J, Liu Q, Qin B. One-year evaluation of rotational stability

and visual outcomes following horizontal, vertical, and oblique implantation of ICL V4c. *BMC Ophthalmol*, 2025, 25(1):200.

[36] Seo JH, Kim MK, Wee WR, et al. Effects of white-to-white diameter and anterior chamber depth on implantable collamer lens vault and visual outcome. *J Refract Surg*, 2009, 25(8):730–738.

[37] He XJ, Niu LL, Miao HM, et al. Relative position of the central hole after EVO-ICL implantation for moderate to high myopia. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1):305.

[38] Chen X, Rao J, Chen YX, et al. Long-term observation on safety and visual quality of implantable collamer lens V4c implantation for myopia correction: a 5-year follow-up. *Int J Ophthalmol*, 2023, 16(7):1123–1129.

[39] Zhao J, Zhao J, Yang W, et al. Consecutive contralateral comparison of toric and non-toric implantable collamer lenses V4c in vault after implantation for myopia and astigmatism. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99(6):e852–e859.

[40] Choi JH, Lim DH, Nam SW, et al. Ten-year clinical outcomes after implantation of a posterior chamber phakic intraocular lens for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45(11):1555–1561.

[41] Yang W, Zhao J, Zhao J, et al. Changes in anterior lens density after Implantable Collamer Lens V4c implantation: a 4-year prospective observational study. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99(3):326–333.

[42] 淦帆, 秦伟国, 刘慧, 等. 不同光照条件下近视患者 Kappa 角的特征及变化规律. 眼科新进展, 2023, 43(1):57–60.

[43] Qian YS, Ding L, Ding YL, et al. Measurement of the distance between corneal apex and pupil center in patients following small-incision lenticule extraction or implantable collamer lens implantation and its correlation with the surgical-induced astigmatism. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1):110.

[44] 赵景华, 贾寓洁, 林淑华, 等. 近视患者优势眼与非优势眼的 Kappa 角、瞳孔大小及中心位置的动态变化. 眼科新进展, 2022, 42(2):142–144.

[45] 王雁, 杨晓艳, 饶丰, 等. 人眼高阶像差对正常近视眼调制传递函数影响的初步分析. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2010, 12(4):245–250.

[46] Niu LL, Miao HM, Tian M, et al. One-year visual outcomes and optical quality of femtosecond laser small incision lenticule extraction and Visian Implantable Collamer Lens (ICL V4c) implantation for high myopia. *Acta Ophthalmol*, 2020, 98(6):e662–e667.

[47] 王涵, 叶敏捷, 鲍伟利, 等. 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术对高度近视的疗效. 国际眼科杂志, 2019, 19(11):1928–1930.

[48] Yu Z, Li J, Song H. Short-time evaluation on intraocular scattering after implantable collamer lens implantation for correcting high myopia. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1):235.

[49] 蒋政, 王华, 罗栋强. 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术矫正高度近视眼术后视觉质量的临床研究. 中华眼科医学杂志(电子版), 2019, 9(5):305–311.

[50] Ye F, Jiang F, Lu Y, et al. Objective optical assessment of tear-film quality dynamics in patients with meibomian gland dysfunction and aqueous-deficient dry eye optical quality changes in different dry eye subtypes. *Indian J Ophthalmol*, 2019, 67(5):599–603.

[51] Bastos G, Holmes JT, Ross JM, et al. Top-down input modulates visual context processing through an interneuron-specific circuit. *Cell Rep*, 2023, 42(9):113133.